

Arrangement and Method for measuring and compensating the Polarisation Mode Dispersion of optical signals

Patent number: EP1324517

Publication date: 2003-07-02

Inventor: KOTTEN KLAUS (DE); KRUMMRICH PETER DR (DE)

Applicant: SIEMENS AG (DE)

Classification:

- international: H04B10/18

- european: H04B10/18P

Application number: EP20020028438 20021218

Priority number(s): DE20011064497 20011228

Also published as:

US2003184735 (A1)

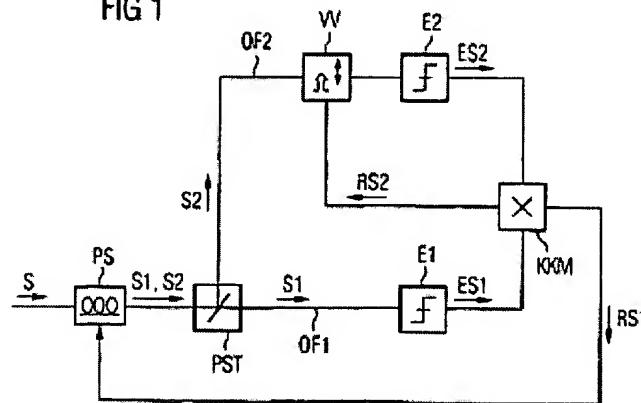
DE10164497 (A1)

[Report a data error here](#)

Abstract of EP1324517

The arrangement has a polarization controller to which the optical signal is fed and that outputs 2 orthogonally polarized signals with a transition time difference that are fed by a divider to 2 optical branches with optical receivers for conversion into electrical output signals. An adjustable delay element is arranged before one of the optical receivers. A regulator after both receivers has a unit for evaluating the transition time difference. <??>The arrangement has a polarization controller (PS) to which the optical signal (S) is fed and that outputs two orthogonally polarized signals with a transition time difference that are fed by a polarization beam divider to two optical branches with optical receivers (E1,2) for conversion into electrical output signals. An adjustable delay element (W) is arranged before one of the optical receivers. A regulator (KKM) after both receivers has a unit for evaluating the transition time difference. AN Independent claim is also included for the following: a method of measuring or compensating for transition time differences of two orthogonally polarized optical signals.

FIG 1



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 324 517 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
02.07.2003 Patentblatt 2003/27

(51) Int Cl. 7: H04B 10/18

(21) Anmeldenummer: 02028438.6

(22) Anmeldetag: 18.12.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO

(30) Priorität: 28.12.2001 DE 10164497

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

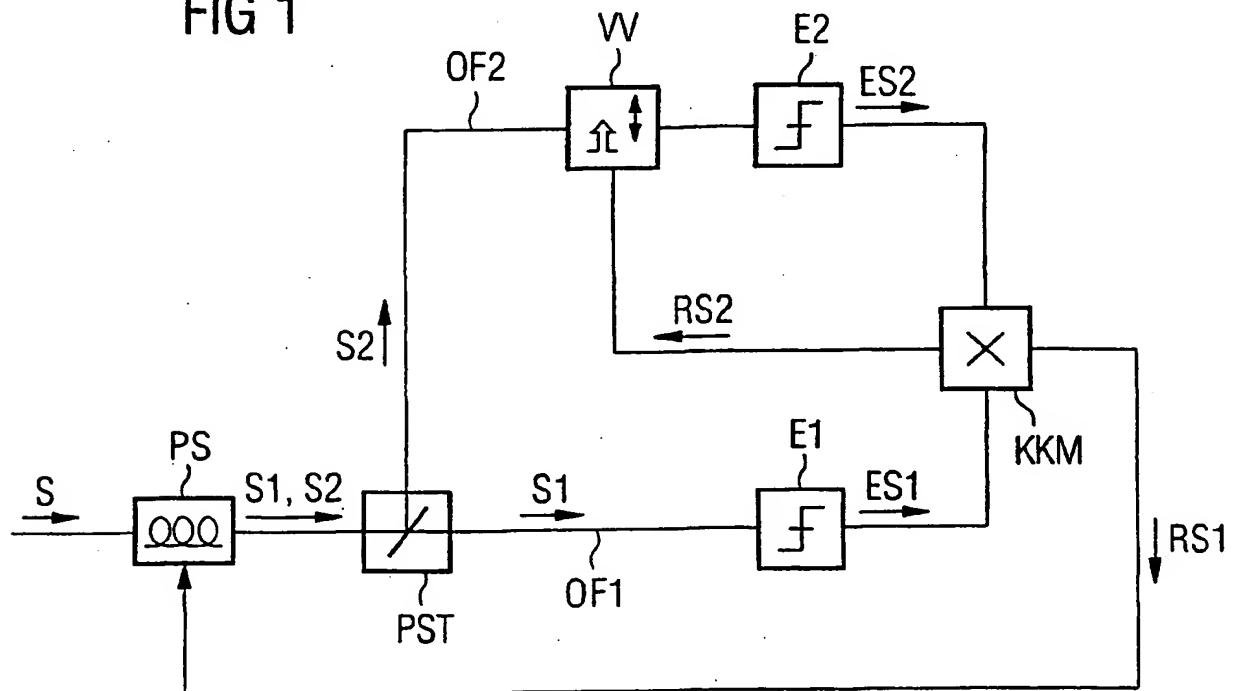
(72) Erfinder:
• Kotten, Klaus
81477 München (DE)
• Krummrich, Peter, Dr.
81379 München (DE)

(54) **Anordnung und Verfahren zur Messung und zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion eines optischen Signals**

(57) Eine Anordnung zur Messung und zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster sowie höherer Ordnungen eines übertragenen optischen Signals wird beschrieben. Der aus Polarisationsmoden-

dispersion verursachte Laufzeitunterschied zwischen orthogonal polarisierten Signalen des übertragenen optischen Signals kann auch oberhalb einer Verzögerung von einer Bitdauer des Datensignals sehr genau ermittelt und weiterhin kompensiert werden.

FIG 1



EP 1 324 517 A2

Beschreibung

[0001] Anordnung und Verfahren zur Messung und zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion eines optischen Signals

[0002] Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1, 2, 4, 5, 8 und 11.

[0003] In optischen Wellenleitern können durch Doppelbrechung oder nicht rotationssymmetrische Brechzahlprofile unterschiedliche Gruppenlaufzeiten für die beiden orthogonalen Polarisationen eines Grundmodus auftreten. Die daraus resultierende Polarisationsmodendispersion PMD kann speziell bei Übertragungssystemen mit hohen Datenraten (typischerweise ab 10 Gbit/s) zu spürbaren Signalverzerrungen führen. Geringe Laufzeitunterschiede der in beiden Polarisationen übertragenen Signale verursachen Impulsverbreiterungen, Laufzeitunterschiede in der Größenordnung der Bitdauer oder darüber wirken sich als Intersymbol-Interferenzen aus. Um in Fasern mit hoher Polarisationsmodendispersion PMD noch qualitativ gute Signale mit hoher Kanaldatenrate übertragen zu können, müssen die Laufzeitunterschiede am Ende der Übertragungsstrecke wieder ausgeglichen werden. In "Impact of Polarisation Mode Dispersion on 10 Gbit/s Terrestrial Systems Over Non-Dispersion-Shifted Fiber", B. Clesca et al., Electronic Letters, 31st August 1995, Vol. 31, No. 18, Seiten 1594-1595 ist der Einfluß der Polarisationsmodendispersion PMD auf die Signalqualität durch eine Messung der Bitfehlerrate BER bei Laufzeitunterschieden zwischen Signalen mit einer Übertragungsraten von 10 Gbit/s dargestellt.

[0004] Temperaturänderungen der Umgebung des optischen Wellenleiters oder mechanische Schwingungen oder Unhomogenitäten beeinflussen die Doppelbrechung bzw. die Symmetrie des Brechzahlprofils sowie die Polarisationstransformationen im Wellenleiter. Als Folge können sich die Laufzeitunterschiede ändern und/oder die Polarisationen, in denen die beiden Signale an einem Empfänger ankommen. Ein Kompensationsverfahren zum Ausgleich der Laufzeitunterschiede muss diese Änderung daher ständig messen und ein Stellglied in einer Regelschleife an den aktuellen Polarisationszustand anpassen.

[0005] Es sind bereits verschiedene Verfahren oder Anordnungen zur Messung bzw. zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion PMD bekannt.

[0006] Aus DE 198 18 699 A1 ist eine Anordnung zur Verringerung von Polarisationsmodendispersion-bedingten Signalverzerrungen durch Verwendung eines Filterverfahrens bekannt. Das Licht wird zur opto-elektronischen Wandlung auf eine Photodiode geführt. Das elektrische Signal wird aufgeteilt und verschiedenen elektrischen Filtern zugeführt. Dies können z. B. Bandpassfilter mit Mittenfrequenzen bei 1/2, 1/4 und 1/8 der Taktfrequenz sein (bei 10 Gbit/s also 5 GHz, 2,5 GHz und 1,25 GHz). Die Ausgangsspannungen oder Aus-

gangsleistungen der Bandpassfilter werden detektiert. Anhand der Größe der so detektierten Spektralanteile kann die Güte des Datensignals beurteilt werden. Wenn bei einem 10 Gbit/s NRZ (non return to zero) Signal zwischen den beiden Polarisationshauptzuständen PSP oder sogenannten "Principal States of Polarisation" eine Laufzeitdifferenz von 100 ps auftritt, was eine Verschiebung um ca. ein Bit entspricht, dann ist das Ausgangssignal des 5 GHz-Filters minimal. Bei einer Laufzeitdifferenz von 0 ps ist das Ausgangssignal maximal.

Im Zuge einer Regelung in einem PMD-Kompensator wird also durch entsprechende Einstellungen am PMD-Kompensator versucht, dieses Signal zu maximieren. Da bei Laufzeitdifferenzen, die größer als eine Bitdauer sind, das Ausgangssignal dieses Filters wieder ansteigt, ist in diesem Bereich keine eindeutige Regelung mehr möglich. Daher werden zusätzlich die oben erwähnten Filter mit niedrigeren Mittenfrequenzen benötigt. Diese erreichen erst bei entsprechend größeren Laufzeitdifferenzen ihr Minimum. In einem PMD-Kompensator wird die Polarisationsmodendispersion PMD folglich zunächst mit Hilfe der niederfrequenten Filter grob kompensiert und dann, wenn das Ausgangssignal des höchstfrequenten Filters eindeutig wird, würde man dessen größere Empfindlichkeit nutzen, um die Polarisationsmodendispersion PMD möglichst weitgehend zu kompensieren und in der Folge bei Veränderungen möglichst frühzeitig nachzuregeln. Nachteilig ist, dass erst erkennbare Verzerrungen des optischen Signals auftreten müssen, bevor das Auftreten von Polarisationsmodendispersion PMD detektiert wird. Außerdem werden in erster Linie Verzerrungen detektiert, und diese können auch durch andere Effekte als PMD entstanden sein.

[0007] Ein bekanntes Verfahren zur Messung der Polarisationsmodendispersion PMD beruht auf einer Ankunftszeitdetection. Bei diesem Verfahren wird bei einem optischen NRZ Signal dieses am Anfang der Übertragungsstrecke durch einen Polarisationsverwürfle geführt. Hierdurch wird erreicht, dass die Polarisationsmodendispersion PMD am Anfang der Strecke innerhalb eines kurzen Zeitintervalls alle denkbaren Zustände durchläuft. Das Signal durchläuft die Übertragungsfaser und einen anschließenden PMD-Kompensator. Sofern die Kombination aus der Übertragungsfaser und dem PMD-Kompensator eine Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 aufweist, wird die Ankunftszeit des Signals variieren. Diese Variation ist proportional zur maximal auftretenden Gruppenlaufzeitdifferenz und damit zur Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1. Da die Taktrückgewinnung des Empfängers diesen Änderungen der Ankunftszeit folgt, kann z. B. das Signal am Eingang des spannungsgeregelten Oszillators (VCO) einem Integrator zugeführt werden und dessen Ausgangssignal genutzt werden, um die Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 zu bestimmen. Die Frequenzen, mit denen der Polarisationsverwürfle angesteuert wird, dürfen nicht zu groß sein, damit die

Taktrückgewinnung des Empfängers den Änderungen der Ankunftszeit noch folgen kann. Es werden für die Messung der Polarisationsmodendispersion PMD gezielt die Schwankungen der Ankunftszeit ausgewertet, deren Frequenz im Bereich der verwendeten Frequenzen für den Polarisationsverwürflier liegen.

Im Gegensatz zur vorliegenden Erfindung benötigt dieses Verfahren einen Polarisationsverwürflier am Eingang der Übertragungsstrecke. Außerdem funktioniert das Verfahren nicht mehr, wenn die zu messenden Laufzeitunterschiede in die Nähe der Bitdauer kommen oder diese gar überschreiten, da die Taktrückgewinnung dann nicht mehr funktioniert.

[0008] Aus EP 0 798 883 A2 ist ein optischer Empfänger mit einer Entzerrerschaltung für durch Polarisationsmodendispersion PMD verursachte Störungen bekannt. Der optische Empfänger des eingehenden Signals weist eine Aufteilseinrichtung zur Trennung der TE- und TM-Moden des eingehenden Signals mit einem Polarisationssteller auf, der das ihr zugeführte Signal in zwei den TE- und TM-Moden entsprechende elektrische Signalanteile aufteilt. Beide Signalanteile weisen einen z. B. durch Polarisationsmodendispersion PMD verursachten Laufzeitunterschied auf, der einer Verschlechterung der Signalqualität entspricht. Die Entzerrerschaltung liefert mittels Mehrstufenentscheider und einer Regeleinrichtung eine Qualitätsmessung der beiden Signalanteile z. B. durch Bestimmung ihrer Bitfehlerrate oder mit Hilfe eines Minimierungsverfahrens der in den elektrischen Signalanteilen enthaltenen hochfrequenten Komponenten. Nach Auswahl des besten Signalsanteils gibt die Entzerrerschaltung ein Datensignal mit minimaler Bitfehlerrate ab. Verzögerungseinrichtungen werden den Zeitunterschied zwischen den beiden Signalanteilen kontinuierlich oder Stufenweise durch Steuersignale der Regeleinrichtung ausgleichen. Hinweise über die Messung der Zeitverzögerung bzw. die Steuersignale zum Ausgleich des Zeitunterschiedes werden hier nicht gegeben. Im optischen Teil des optischen Empfängers werden lediglich die Polarisationsebenen des eingehenden optischen Signals mittels einer der Regeleinrichtung ausgehenden Regelsignals je nach der durchgeföhrten Qualitätsmessung beeinflußt. Eine Messung der Zeitverzögerung über eine Bitdauer kann ebenfalls nicht durchgeführt werden.

[0009] Aus "Polarization Mode Dispersion Compensation by Phase Diversity Detection", B. W. Hakki, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 9, No. 1, January 1997 ist PMD-Kompensator beschrieben, bei dem ein Polarisationsmodendispersion aufweisendes optisches Signal in die zwei "Principal States of Polarisation" PSP durch Maximierung des gemessenen Phasenunterschiedes zwischen zwei pseudo-zufälligen Datensignalen mit einer Datenrate von 10 Gbit/s aufgeteilt wird. Nach Bestimmung des Phasenunterschiedes mittels eines 5 GHz Gilbert-Mischer wird eine Verzögerungsleitung zur Minimierung des Phasenunterschiedes verstellt. Hier wird auch eine Messung bzw. eine Kompen-

sation des durch Polarisationsmodendispersion verursachten Phasenunterschiedes zwischen den den "Principal States of Polarisation" PSP entsprechenden Datensignalen auf die Bitdauer begrenzt.

- 5 [0010] Zur lediglichen Kompensation der Polarisationsmodendispersion PMD sind verschiedene PMD-Kompensatoren bekannt.
- [0011] Aus WO 00/41344 ist ein PMD-Kompensator bekannt, der zwei "Principal States of Polarisation" PSP 10 automatisch herausfindet und diese nach einer digitalen Signalverarbeitung auf zwei orthogonale lineare Polarisationsrichtungen eines Strahleiters richtet.
- [0012] Aus WO 00/45531 ist ein anderer PMD-Kompensator bekannt, der ohne digitale Signalverarbeitung 15 aber mittels einer Taktrückgewinnung und eines Phasenmodulators die Phase jedes Bit der zwei durch Polarisationsmodendispersion zeltversetzten Datensignale ausgleicht.
- [0013] Aus WO 00/03505 ist ferner ein PMD-Kompensator bekannt, der ein doppelbrechendes Substrat und 20 einen auf der Oberfläche realisierten Wellenleiter mit elektrisch leitfähigen Elektroden aufweist und bei dem viele unterschiedliche Polarisationstransformationen mittels Steuerspannungen an den Elektroden im Betrieb 25 derart einstellbar sind, daß die Polarisationsmodendispersion PMD erster und höherer Ordnungen kompensiert werden kann. In Fig. 5 dieses Dokuments wird ein adaptiver PMD-Kompensator beschrieben, bei dem eine Regelung mittels einer oder je nach kleinen oder großen Werten der Polarisationsmodendispersion mehrerer 30 Passbandfilterungen des vom PMD-Kompensator ausgehenden Signals eine von einem Regler gesteuerte Neueinstellung der Steuerspannungen des PMD-Kompensator bewirkt.
- [0014] Die Aufgabe der Erfindung liegt nun darin, eine Anordnung und ein Verfahren zur Messung und zur Kompensation der Verzerrungen durch Polarisationsmodendispersion erster Ordnung und weiterhin höherer Ordnungen bei der Übertragung eines optischen Signals anzugeben, die eine Bestimmung großer Laufzeitunterschiede, z. B. oberhalb einer Bitdauer, ermöglichen.
- [0015] In einem ersten Schritt wird eine Anordnung 45 zur Messung der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung eines optischen Signals beschrieben, bei der einem Polarisationssteller das optische Signal zugeführt wird, der zwei orthogonal polarisierte Signale abgibt, die zwischen einander einen Laufzeitunterschied aufweisen und jeweils mittels eines Polarisationsstrahleiters in zwei optische Zweige mit jeweils einem optischen Empfänger zur Wandlung in elektrische Ausgangssignale eingespeist sind. Erfindungsgemäß ist 50 den zwei optischen Empfängern ein Regler nachgeschaltet, der eine genaue Auswerteeinheit des Laufzeitunterschiedes mittels der Kreuzkorrelation zwischen den elektrischen Ausgangssignalen aufweist. Ferner ist 55 ein einstellbares Verzögerungsglied vor einem der optischen Empfänger in einem der Zweige angeordnet,

wobei dessen Verzögerung durch ein Regelsignal vom Regler zur Suche des Maximums der Kreuzkorrelation verstellbar ist. Vorteilhafterweise erfolgt die Suche über einen großen Messbereich, der oberhalb einer Bitdauer liegen kann. Zwei Varianten der erfindungsgemäßigen Anordnung zur Messung der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung werden hier beschrieben.

[0016] Weitere Ausgestaltungen erfindungsgemäßer Anordnungen ermöglichen eine Messung und eine zusätzliche Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung durch die Ermittlung des gemessenen Lautzeitunterschiedes. Diese werden durch die Gegenstände der Patentansprüche 3, 4 und 5 beschrieben.

[0017] Bei dieser Erfindung werden in erster Linie eine Messung sowie eine Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung beschrieben. Weitere erfindungsgemäßige Anordnungen werden ferner durch die Gegenstände der Patentansprüche 6, 7 und 8 beschrieben, die weitere höhere Ordnungen der Polarisationsmodendispersion ebenfalls ermitteln und kompensieren. Dadurch werden, insbesondere bei großen Laufzeitunterschieden, starke Verzerrungen durch hohe Ordnungen der Polarisationsmodendispersion in einer vorteilhaften Weise unterdrückt.

[0018] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Ermittlung oder Kompensation des Laufzeitunterschiedes zwischen zwei orthogonal polarisierten Signalen bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung wird durch den Gegenstand des Patentanspruches 11 beschrieben.

[0019] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung werden in den Unteransprüchen angegeben.

[0020] Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen mit Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1: eine erste erfindungsgemäßige Anordnung zur Messung des Lautzeitunterschiedes bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung.

Fig. 2: eine Darstellung der Kreuzkorrelation als Funktion des Lautzeitunterschiedes DT zwischen zwei versetzten Signalen inner- und oberhalb einer Bitdauer BD,

Fig. 3: eine zweite erfindungsgemäßige Anordnung zur Messung des Lautzeitunterschiedes bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung.

Fig. 4: eine erste erfindungsgemäßige Anordnung zur Messung und Kompensation des Lautzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung,

Fig. 5: eine zweite erfindungsgemäßige Anordnung zur Messung und Kompensation des Lautzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung,

Fig. 6: eine erste erweiterte erfindungsgemäßige Anordnung zur Messung und Kompensation des Lautzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion erster und höherer Ordnungen,

Fig. 7: eine zweite erweiterte erfindungsgemäßige Anordnung zur Messung und Kompensation des Lautzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion erster und höherer Ordnungen.

[0021] Fig. 1 zeigt eine erste erfindungsgemäßige Anordnung zur Messung des Lautzeitunterschiedes DT bei einer Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1, an deren Eingang ein Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 aufweisendes optisches Signal S eingespeist ist. Dem Eingang der Anordnung ist ein Polarisationssteller PS zur einstellbaren Trennung und Abbildung des optischen Signals S in zwei orthogonal polarisierte Signale S1, S2 auf die Hauptachsen eines nachgeschalteten Polarisationsstrahleiters PST nachgeschaltet. Der Begriff "orthogonal polarisiert" bedeutet hier, daß mittels zweier orthogonal polarisierter Signale alle polarisierte Zustände eines Signals beschrieben werden können. Die Polarisationsrichtungen, z. B. linear polarisiert, der Signale S1, S2 sind am Ausgang des Polarisationsstellers PS derart eingestellt, daß die Signale S1, S2 genau die Hauptachsen des Polarisationsstrahleiters PST treffen und je in einen weiteren optischen Zweig OF1, OF2 geleitet werden. Den zwei optischen Zweigen OF1, OF2 sind zwei opto-elektronische Wandler E1, E2, z. B. als optische Empfänger wie Fotodioden, angeschlossen, deren zwei elektrische Ausgangssignale ES1, ES2 einem Regler KKM zugeführt werden. Zwei Regelsignale RS1, RS2 des Reglers KKM werden dem Polarisationssteller PS bzw. einem einstellbaren Verzögerungsglied VV zugeführt. Das einstellbare Verzögerungsglied VV ist zwischen dem Polarisationsstrahleiter PST und einem der opto-elektronischen Wandler E1 oder E2 angeordnet. Die opto-elektronischen Wandler E1, E2 weisen eine Taktrückgewinnung und eine Entscheiderstufe auf. Der Regler KKM weist eine Auswerteeinheit des Laufzeitunterschiedes DT zwischen den Signalen S1 und S2 durch Ermittlung der Kreuzkorrelation zwischen den elektrischen Ausgangssignalen ES1, ES2 auf, wobei im Betrieb das elektrische Signal ES2 eine durch das Verzögerungsglied VV eingestellte Verzögerung zu dem Signal S2 aufweist, die permanent als verbleibenden Verzögerung weiterhin feinermittelt bzw. in weiteren Anordnungen der Erfindung feinkompensiert wird. Zuerst wird die Verzögerung des Verzögerungsglieds VV mittels des Regelsignals RS2 variiert, bis das Maximum der Kreuzkorrelation erreicht ist und dann wird der Polarisationssteller PS zur betragsmäßigen Maximierung der eingestellten Verzögerung des Verzögerungsglieds VV mittels des Regelsignals RS1 vom Regler KKM geregelt. Dies bedeutet, daß die Verzögerung des Verzögerungsglieds VV derart verstellt wird, daß sie dem

ursprünglichen Laufzeitunterschied DT zwischen den optischen Signalen S1, S2 entspricht. Ist das Maximum der eingestellten Verzögerung des Verzögerungsglieds W durch die Verstellung des Polarisationsstellers PS erreicht, bildet der Polarisationssteller PS die "Principal States of Polarisation" PSP mit maximalem Laufzeitunterschied DT genau auf die Trennkennlinien oder sogenannten Hauptachse des Polarisationsstrahleiters PST ab. Die dabei eingestellte Verzögerung W entspricht dadurch genau dem durch Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 verursachten gemessenen Laufzeitunterschied DT.

[0022] In Fig. 2 ist die normierte Kreuzkorrelation, die als Auswerteeinheit des Laufzeitunterschiedes im Regler KKM aus Figur 1 vorgesehen ist, als Funktion des Laufzeitunterschiedes DT oder einer zeitlichen Verzögerungsverstellung zwischen zwei versetzten Signalen unter- und oberhalb einer Bitdauer BD dargestellt.

Weisen die Ausgangssignale ES1, ES2 bei der Anordnung gemäß Fig. 1 keinen Laufzeitunterschied auf, dann wird das Maximum der Kreuzkorrelation hier mit dem Wert 1 erreicht.

Für Laufzeitunterschiede DT bis zu einer Bitdauer BD nimmt die Kreuzkorrelationsfunktion proportional zum Laufzeitunterschied DT auf einem Wert (hier 0,5) ab (unter der Annahme, daß bei den Ausgangssignalen ES1 und ES2 Nullen und Einsen gleich häufig auftreten).

Bei hohen Laufzeitunterschieden, z. B. oberhalb der Bitdauer der gemessenen Signale, sind die elektrischen Ausgangssignale ES1 und ES2 nur minimal korreliert. Daher liefert die Kreuzkorrelationsfunktion im Regler KKM kein Maximum, sondern einen konstanten Wert. Praktisch erfolgt eine sogenannte "betragsmäßige" Maximierung der eingestellten Verzögerung des Verzögerungsglieds VV durch eine optimale Abbildung bzw. Regelung der orthogonal polarisierten Signale S1, S2 des Polarisationsstellers PS auf den Hauptachsen des nachgeschalteten Polarisationsstrahleiters PST. Das einstellbare Verzögerungsglied W in einem der optischen Zweige OF1, OF2 wird weiterhin so lange ver stellt, bis sich die endgültige Suche des Maximumswerts 1 der Kreuzkorrelation im Bereich einer Bitdauer BD befindet. Da sich im Laufe der Zeit die "Principal States of Polarisation" PSP und die Laufzeitunterschiede bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 in einer Übertragungsfaser, z. B. bei mechanischen Störungen oder Temperaturänderungen, ändern bzw. schwanken können, werden der Polarisationssteller PS und das Verzögerungsglied VV zur Erzielung des Maximums der Kreuzkorrelation permanent und möglichst schnell genug geregelt.

Das Verzögerungsglied VV wird so kalibriert, dass in der Mittelstellung das optische Signal S1 vom Polarisationsstrahleiter PST bis zum Empfänger E1 genauso lange läuft wie das optische Signal S2 vom Polarisationsstrahleiter PST bis zum Empfänger E2. Um den Laufzeitunterschied DT der Signale S1, S2 in orthogonalen

Polarisationzuständen zu bestimmen, regelt der Regler KKM die Einstellung des Verzögerungsglieds W, bis eine Kreuzkorrelation mit dem Wert 1 auftritt. Die dafür erforderliche Verstimmung des Verzögerungsglieds VV von der Mittelstellung gibt ihm dann den Wert für den Laufzeitunterschied DT an. Folglich ist der Messbereich für Laufzeitunterschiede nur durch den Abstimmbereich des einstellbaren Verzögerungsglieds VV begrenzt.

[0023] Da sich im Laufe der Zeit die "Principal States of Polarisation" PSP und der Laufzeitunterschied DT, oder sogenannte "Differential Group Delay" DGD, der Übertragungsfaser ändern können, muß permanent nachgeregelt werden. Hierzu muß die eingestellte Verzögerung des Verzögerungsglieds W ständig etwas variiert werden, so daß permanent über das Maximum der Kreuzkorrelationsfunktion hin und her gefahren wird.

Wenn sich der Laufzeitunterschied DT der Übertragungsstrecke jetzt z. B. vergrößert, dann kann mit Hilfe einer entsprechenden Auswerte-Elektronik festgestellt werden, daß das Maximum der Kreuzkorrelationsfunktion nicht mehr in der Mitte des Variationsbereichs der Verzögerung des einstellbaren Verzögerungsglieds VV liegt, und daß die Verzögerung vergrößert werden muß, damit die Variation wieder symmetrisch zum Maximum der Kreuzkorrelationsfunktion erfolgt. Wenn man diese Variation beispielsweise mit einem sinusförmigen Signal durchführt, dann läßt sich bei korrekter Einstellung der Verzögerung diese Frequenz in der Kreuzkorrelationsfunktion nicht mehr detektieren (es erfolgt eine Frequenzverdopplung). Wenn die Verzögerung nicht richtig eingestellt ist und der aktuelle Arbeitspunkt liegt auf einer der Flanken der Kreuzkorrelationsfunktion, dann läßt sich das Signal wieder detektieren und die Phasenlage gibt an, auf welcher Seite des Maximums man sich befindet. Derartige Regelungsverfahren, z. B. sogenannte Lock-in-Verfahren, sind auch in anderen Bereichen der Technik üblich und können auch hier für die Stabilisierung auf dem Maximum verwendet werden, sobald die Verzögerung des einstellbaren Verzögerungsglieds VV den ursprünglichen Laufzeitunterschied DT auf einen Wert kleiner als eine Bitdauer BD reduziert hat.

[0024] Wenn sich die "Principal States of Polarisation" PSP der Übertragungsstrecke ändern, dann wird der im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Algorithmus zu einer betragsmäßig verkleinerten Einstellung der Verzögerung führen, auch wenn sich der Laufzeitunterschied DT der Übertragungsstrecke gar nicht verändert hat. Ein weiterer Algorithmus muß also permanent kleine Veränderungen an der Einstellung des Polarisationsstellers PS vornehmen, und zwar mit dem Ziel, die Einstellung der Verzögerung des Verzögerungsglieds W zu maximieren.

[0025] Wenn die Leistungsverteilung des Lichts auf die beiden "Principal States of Polarisation" PSP stark unsymmetrisch wird und im Extremfall die Leistung vollständig in einem der "Principal States of Polarisation"

PSP der Übertragungsstrecke übertragen wird, dann erhält bei korrekter Einstellung des Polarisationsstellers PS einer der beiden Empfänger E1 und E2 kein Eingangssignal mehr und die Kreuzkorrelation kann nicht mehr gebildet werden. Damit besteht die Gefahr, daß die Einstellung des Verzögerungsglieds W in falscher Weise verändert wird. Daher muß in diesem Fall, wenn die Eingangsleistung am Empfänger E1 oder E2 eine bestimmte Leistungsschwelle unterschreitet, die Einstellung des Verzögerungsglieds VV und des Polarisationsstellers PS festgehalten werden, und zwar so lange, bis wieder ausreichend Leistung an beiden Empfängern vorliegt. Die Phase, während der die Einstellungen festgehalten werden, ist insofern unkritisch, als in diesem Fall die Lichtleistung nur in einem der "Principal States of Polarisation" PSP enthalten ist und somit keine Verzerrungen durch Polarisationsmodendispersion erster Ordnung vorliegen.

[0026] Wenn die Einstellung des Verzögerungsglieds W und des Polarisationsstellers PS nach dem Einschalten noch weit vom korrekten Arbeitspunkt entfernt sind, muß dieser Punkt zunächst gesucht werden. Dazu muß das einstellbare Verzögerungsglied VV über den ganzen Einstellbereich durchgestimmt werden, und dies ggf. mehrmals mit verschiedenen Einstellungen des Polarisationsstellers PS. Erst wenn der Polarisationssteller PS zumindest grob die korrekte Aufteilung der "Principal States of Polarisation" PSP auf die beiden optische Zweige vornimmt, kann beim Durchstimmen des Verzögerungsglieds W auch der Laufzeitunterschied DT gefunden werden, bei dem das Maximum der Kreuzkorrelation auftritt. Wenn dieser Punkt gefunden ist, kann nach dem zuvor beschriebenen Verfahren den Änderungen der "Principal States of Polarisation" PSP und des Laufzeitunterschiedes DT der Übertragungsfaser kontinuierlich gefolgt werden.

[0027] Fig. 3 zeigt eine zweite erfindungsgemäße Anordnung zur Messung des Laufzeitunterschiedes bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1, die mit der Anordnung nach Fig. 1 weitgehend identisch ist. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß das einstellbare Verzögerungsglied W aus Fig. 1 durch ein doppelbrechendes Element VDV mit einstellbarem Laufzeitunterschied zwischen seinen Hauptachsen ersetzt ist, das dem Polarisationssteller PS und dem Polarisationsstrahltreiler PST zwischengeschaltet ist und dem Regelsignal RS2 vom Regler KKM zugeführt ist. Anschließend folgt ein Polarisationsstrahltreiler PST, dessen Ausgangssignale S1, S2 den Empfängern E1 und E2 zugeführt werden. Der Polarisationsstrahltreiler PST muss dabei so an dem Ausgang des doppelbrechenden Elements angekoppelt werden, dass er die Signalkomponenten trennt, die aus den Hauptachsen des einstellbaren doppelbrechenden Elementes VDV austreten. Im Vergleich zu dem Aufbau in Fig. 1 wird die Aufteilung des Signals für die Empfänger E1 und E2 also erst nach der Einstellung des Laufzeitunterschiedes durchgeführt.

[0028] Eine Auskopplungseinrichtung EK ist dem doppelbrechenden Element VDV zum Abzweigen eines Signals S3 nachschaltbar. Das Signal S3 kann nach Regelung mittels der Komponenten (KKM, VDV, PS) durch 5 neue zeitversetzte d.h. Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 kompensierte Signale S1ko, S2ko ausgetauscht und einem optischen Empfänger E3 zugeführt werden. Die Auskopplungseinrichtung EK ist derart ausgewählt, daß sie die Polarisations-eigenschaften der Übertragung zwischen dem doppelbrechenden Element VDV und dem nachgeschalteten Polarisationsstrahltreiler PST möglichst nicht beeinflusst. Zur Erhaltung des Signals S3 könnte auch nach Regelung ein Teil 10 des zeitverschobenen Signals S2ko am Ausgang des doppelbrechenden Elements VDV ausgetauscht und mit einem ausgetauschten Teil des Signals S1ko wieder zusammengefasst werden.

[0029] Fig. 4 zeigt eine erste erfindungsgemäße Anordnung zur Messung und Kompensation des Laufzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1. In der Praxis wird diese Anordnung 20 wegen der Redundanz ihrer Komponenten nicht so realisiert, wird aber zur Verdeutlichung des Schaltprinzips modular in Fig. 4 demnach erläutert. Die Anordnung zur Messung des Laufzeitunterschiedes DT entspricht zuerst weitgehend der Anordnung nach Fig. 1 bzw. Fig. 3, wobei das Verzögerungsglied W bzw. das doppelbrechende Element VDV als erstes Verzögerungsglied VV1 bzw. VDV1, der Polarisationssteller PS als erster 25 Polarisationssteller PS1 und der Polarisationsstrahltreiler PST als erster Polarisationsstrahltreiler PST1 bezeichnet sind. Im Unterschied zu Fig. 1 und 3 wird zur Kompensation des Laufzeitunterschiedes DT wird wenigstens ein Teil des optischen Signals S vor dem Eingespeisen in den Polarisationssteller PS1 mittels einer Auskopplungseinrichtung AK in einen zweiten Polarisationssteller PS2 eingespeist, dem ein Regelsignal RS3 (= RS1) vom Regler KKM zur Einstellung der entsprechenden "Principal States of Polarisation" PSP zugeführt ist. Dem zweiten Polarisationssteller PS2 ist ein zweiter Polarisationsstrahltreiler PST2 nachgeschaltet, der die den Laufzeitunterschied DT aufweisenden "Principal States of Polarisation" S1k, S2k genau in zwei optische Zweige OF3, OF4 trennt. Ein zweites einstellbares 35 Verzögerungsglied VV2 ist in einem der zwei optischen Zweige gemäß der Messanordnung angeordnet und ihre Verzögerung wird mittels eines Regelsignals RS4 (= RS2) aus dem Regler KKM zur Kompensation des Laufzeitunterschiedes DT eingestellt. Anschließend werden das optische Signal S1k und das kompensierte Signal S2ko in den zwei optischen Zweige OF3, OF4 nach dem Verzögerungsglied VV2 mittels eines dritten Polarisationsstrahltreilers PST3 wieder in ein optisches Signal S3 zusammengefasst und einem dritten Empfänger E3 zugeführt. 40 Die hier beschriebene Anordnung wurde schrittweise zur Klarstellung der Messung und der Kompensation von Polarisationsmodendispersion erster Ordnung

[0030] Die hier beschriebene Anordnung wurde schrittweise zur Klarstellung der Messung und der Kompensation von Polarisationsmodendispersion erster Ordnung

PMD1 dargestellt. Selbstverständlich ist es in der Praxis möglich, einige Komponenten einzusparen.

[0030] In Fig. 5 ist eine zweite erfindungsgemäße Anordnung zur Messung und Kompensation des Lautzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 dargestellt, bei der die Anordnung aus Fig. 4 für praktische Realisierungszwecke optimiert wird. Für die Messung des Laufzeitunterschiedes DT durch Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 wird aus Fig. 1 verwiesen. In den zwei optischen Zweigen OF1, OF2 wird jeweils eine Auskoppeleinrichtung EK1, EK2 dem Empfänger E1, E2 vorgeschaltet. Aus der Auskopplungseinrichtung EK2 ist ein Teil des durch das vorgeschaltete vom Regler KKM einstellbare Verzögerungsglied VV PMD1-kompensierte Signal S2ko abgezweigt und wird mittels eines Polarisationsstrahlkopplers PSK mit einem aus der Auskopplungseinrichtung EK1 abgezweigten Teil des Signals S1 zu einem Signal S3 zusammengefassst. Anschließend kann dem Ausgang des Polarisationsstrahlkopplers PSK ein dritter Empfänger E3 angeordnet werden.

[0031] Diese Anordnung kann ebenfalls mit einer Messanordnung nach Fig. 3 nachgeschaltet werden.

[0032] Eine weitere Variante besteht für alle Anordnungen der vorliegenden Anmeldung darin, in der Messanordnung anstelle oder zusätzlich zum optischen einstellbaren Verzögerungsglieds W bzw. VDV eine elektrische Leitung mit variabler Verzögerung zu verwenden. Diese wird nach der Wandlung des optischen Signals in ein elektrisches mittels der opto-elektronischen Wandler E1, E2 eingefügt. Entweder kann eine Verzögerungsleitung in einem Empfänger eingesetzt werden oder in beiden Empfängern E1, E2 je eine Verzögerungsleitung mit differentieller Ansteuerung. Für die PMD-Kompensation wird weiterhin eine optische Leitung mit variabler Verzögerung benötigt, damit der dritte Empfänger E3 ein unverzerrtes Signal S3 erhält, in dem beide "Principal States of Polarisation" PSP d. h. hier S1, S2ko enthalten sind.

[0033] Die in Fig. 6 dargestellte erweiterte erfindungsgemäße Anordnung ermöglicht eine Messung und eine Kompensation des Lautzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion (erster und) höherer Ordnungen. Tatsächlich haben höhere Ordnungen der Polarisationsmodendispersion bei großen Laufzeitunterschieden, z. B. über eine Bitdauer, zwischen den "Principal States of Polarisation" PSP einen starken Einfluß auf die Signalqualität.

Ausgehend von Fig. 4 oder 5 wird das mit Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 komensierte Signal S3 in einen Kompensator KOMP2 der Polarisationsmodendispersion höherer Ordnungen eingespeist, dessen Ausgang dem optischen Empfänger E3 angeschlossen ist.

Im Vergleich zu Fig. 4 oder 5 bzw. Fig. 1, 3 werden die Empfänger E1 und E2 wegen entsprechender Verzerrungen höherer Ordnungen nicht mehr korrekt entscheiden. Die Lösung besteht darin, Empfänger ohne Takt-

rückgewinnung und ohne Entscheider zu verwenden, d. h. die Kreuzkorrelation im Regler KKM wird aus analogen Signalen von Fotodioden als optischen Empfängern E1 und E2 errechnet. Die Ausgangssignale ES1,

5 ES2 werden elektrisch möglichst auf einen konstanten Pegel mittels einer Verstärkereinheit verstärkt, damit die Kreuzkorrelation im Regler KKM unabhängig von den Eingangsleistungen an den Fotodioden E1, E2 wird, so wie es auch für Empfänger mit Taktrückgewinnung und

10 Entscheider mit Hilfe eines "Automatic-Gain-Control" (-AGC)-Verstärkers üblich ist.

Als Kompensator KOMP2 der Polarisationsmodendispersion höherer Ordnungen können unterschiedliche bekannte Kompensatoren verwendet werden. Der

15 Kompensator KOMP2 weist am Eingang einen mehrstufigen PMD-Controller CTR auf. Dieser kann beispielsweise aus mehreren doppelbrechenden Elementen, z. B. polarisationserhaltenden Fasern, und Polarisationsstellem, die jedem dieser Elemente vorgeschaltet sind, bestehen. Alternativ kann es sich dabei auch

20 um eine Komponente nach dem Stand der Technik gemäß der bereits zitierten WO 00/03505 handeln, bei der die Doppelbrechung und die Polarisationsstellmöglichkeiten nahezu kontinuierlich über die Länge des

25 Bauteils als PMD-Controllers CTR verteilt sind. Ein dem PMD-Controller CTR nachgeschalteter Koppler KO führt einen Teil des Lichts zu einer Meßeinrichtung M2, welche die Polarisationsmodendispersion höherer Ordnung bzw. deren Auswirkung auf die Signalqualität detektiert/ermittelt. Die Ausgangssignale des PMD-Detektors M2 werden einer Signalverarbeitung SV zugeführt, in welcher ein Regelalgorithmus zur Minimierung der detektierten Polarisationsmodendispersion höherer Ordnung implementiert ist. Weitere Ausgangssignale

30 der Signalverarbeitung SV steuern den mehrstufigen PMD-Controller CTR, z. B. durch Neueinstellung der darin enthaltenen Polarisationssteller. Das vom Koppler KO nicht ausgekoppelte Ausgangssignal des PMD-Kompensators KOMP2 höherer Ordnung wird

35 schließlich dem Empfänger E3 zugeführt. Dieses Konzept setzt aber voraus, daß die Eigenschaften des mehrstufigen PMD-Controllers CTR genau bekannt sind und sich auch nicht durch Alterungseffekte ändern bzw. diese Änderungen zumindest bekannt sind, z. B.

40 durch automatische Rekalibrierung im Betrieb. Nur so kann sichergestellt werden, daß die Ansteuerung des PMD-Controllers CTR nur in der Weise erfolgt, daß keine Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 von ihm erzeugt wird, sondern nur Polarisations-

45 modendispersion höherer Ordnung. Andernfalls würde die vorherige Kompensation von Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 wieder zunichtegemacht.

[0034] In Fig. 7 ist eine zweite erweiterte erfindungsgemäße Anordnung zur Messung und Kompensation des Lautzeitunterschiedes DT bei Polarisationsmodendispersion erster und höherer Ordnungen PMD1, PMD2 dargestellt, bei der die Anordnung zur Messung und

Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 je nach den Figuren 1 bis 5 verwendet ist. Das Polarisationsmodendispersion aufweisende Signal S gelangt an einen mehrstufigen PMD-Controller CTR, welcher aufgrund des mehrstufigen Aufbaus neben Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 auch Polarisationsmodendispersion höherer Ordnungen PMD2 kompensieren kann (siehe Stand der Technik). Mit Hilfe eines Kopplers KO wird ein Teil TS1 des Ausgangssignals des PMD-Controllers CTR zur Messung der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung PMD1 der in Fig. 1 dargestellten Meßanordnung M1 zugeführt. Ein weiterer Teil TS2 des Ausgangssignals des PMD-Controllers CTR wird einem PMD-Detektor M2 als Detektion- und Messeinrichtung einer Polarisationsmodendispersion höherer Ordnung PMD2 zugeführt. Die Ausgangssignale AS1, AS2 beider Meßeinheiten M1, M2 werden einer Signalverarbeitung SV zugeführt, welche einen Regelalgorithmus zur Minimierung von Polarisationsmodendispersion erster und höherer Ordnung PMD1, PMD2 enthält und den PMD-Controller CTR entsprechend ansteuert. Entgegen der Anordnung aus Fig. 6 müssen hier die Eigenschaften des mehrstufigen PMD-Controllers CTR nicht exakt bekannt und langzeitstabil sein. Vielmehr kann mit Hilfe eines Gradientenverfahrens eine permanente Minimierung der detektierten Polarisationsmodendispersion erfolgen. Dazu werden z. B. an den Eingangsgrößen der Steuerelektroden des mehrstufigen PMD-Controllers CTR jeweils die Veränderungen vorgenommen, für die mit den Meßeinheiten M1 und M2 eine Verbesserung festgestellt wurde.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Messung der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1) eines optischen Signals (S), bei der einem Polarisationssteller (PS) das optische Signal (S) zugeführt wird, der zwei orthogonal polarisierte Signale (S1, S2) abgibt, die zwischen einander einen Laufzeitunterschied (DT) aufweisen und jeweils mittels eines Polarisationsstrahleiters (PST) in zwei optische Zweige (OF1, OF2) mit jeweils einem optischen Empfänger (E1, E2) zur Wandlung in elektrische Ausgangssignale (ES1, ES2) eingespeist sind,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein einstellbares Verzögerungsglied (W) einem der optischen Empfänger (E1, E2) vorgeschaltet ist,
dass den zwei optischen Empfängern (E1, E2) ein Regler (KKM) nachgeschaltet ist, der eine Auswerteeinheit des Laufzeitunterschiedes (DT) mittels einer Kreuzkorrelation zwischen den elektrischen Ausgangssignalen (ES1, ES2) aufweist,
daß dem Polarisationssteller (PS) ein erstes Regelsignal (RS1) vom Regler (KKM) zugeführt ist und

dass dem Verzögerungsglied (W) ein zweites vom Regler (KKM) ausgehendes Regelsignal (RS2) zugeführt ist.

- 5 2. Anordnung nach Anspruch 1,
bei der das Verzögerungsglied (W) durch ein doppelbrechendes Element (VDV) mit einstellbarem Laufzeitunterschied ersetzt ist, das dem Polarisationssteller (PS) und dem Polarisationsstrahleiter (PST) zwischengeschaltet ist und dem das Regelsignal (RS2) zugeführt ist.
- 10 3. Anordnung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem doppelbrechenden Element (VDV) eine Entkopplungseinrichtung (EK) zur Gewinnung eines Signals (S3) nachgeschaltet ist, wobei das Signal (S3) einen Anteil von Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1) kompensierten orthogonal polarisierten Signalen (S1ko, S2ko) aufweist.
- 15 4. Anordnung zur Messung und Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1) eines optischen Signals (S),
bei der einem ersten Polarisationssteller (PS1) das optische Signal (S) zugeführt wird, der zwei ausgende orthogonal polarisierte Signale (S1, S2) abgibt, die zwischen einander einen Laufzeitunterschied (DT) aufweisen und jeweils mittels einem ersten Polarisationsstrahleiter (PST1) in zwei optische Zweige (OF1, OF2) mit jeweils einem optischen Empfänger (E1, E2) zur Wandlung in elektrische Ausgangssignale (ES1, ES2) eingespeist sind,
dadurch gekennzeichnet,
dass einem Regler (KKM) die elektrischen Ausgangssignale (ES1, ES2) zugeführt sind,
dass der Regler (KKM) eine Auswerteeinheit des Laufzeitunterschiedes (DT) mittels einer Kreuzkorrelation zwischen den elektrischen Ausgangssignalen (ES1 ES2) aufweist,
dass dem Polarisationssteller (PS1) ein vom Regler (KKM) abgegebenes erstes Regelsignal (RS1) zugeführt ist,
dass ein erstes Verzögerungsglied (VV1) einem der optischen Empfänger (E1, E2) vorgeschaltet ist und dem ersten Verzögerungsglied (VV1) ein zweites Regelsignal (RS2) vom Regler (KKM) zugeführt ist,
dass eine dem ersten Polarisationssteller (PS1) vorgeschaltete Entkopplungseinrichtung (AK) vorgesehen ist, die wenigstens einen Teil (Sk) des optischen Signals (S) einem zweiten Polarisationssteller (PS2) zuführt, dem das erste Regelsignal (RS1) des Reglers (KKM) zugeführt ist, und an dessen Ausgang zwei orthogonal polarisierte Signale (S1k, S2k) über einen zweiten Polarisationsstrahl-

teiler (PST2) jeweils in zwei weitere optische Zweige (OF3, OF4) eingespeist sind, deren einer Zweig ein zweites vom zweiten Regelsignal (RS2) des Reglers (KKM) gesteuertes einstellbares Verzögerungsglied (VV2) zur Kompensation des Laufzeitunterschiedes (DT) zwischen den orthogonal polarisierten Signalen (S1k, S2k) bzw. (S1, S2) aufweist und

dass die Ausgänge der beiden optischen Zweige (OF3, OF4) einem Strahlkoppler (SK3) zugeführt sind, der aus den zusammengefassten Polarisationsmodendispersion kompensierten Signalen (S1k, S2ko) ein Ausgangssignal (S3) bildet.

5. Anordnung zur Messung und Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1) eines optischen Signals (S), bei der einem Polarisationssteller (PS) das optische Signal (S) zugeführt wird und zwei ausgehende orthogonal polarisierte Signale (S1, S2) ausgibt, die untereinander einen Laufzeitunterschied (DT) aufweisen und jeweils mittels eines Polarisationsstrahlteilers (PST) in zwei optische Zweige (OF1, OF2) mit jeweils einem optischen Empfänger (E1, E2) mit elektrischen Ausgangssignalen (ES1, ES2) eingespeist sind,

dadurch gekennzeichnet,

dass die elektrischen Ausgangssignale (ES1, ES2) einem Regler (KKM) zugeführt sind,

dass der Regler (KKM) eine Auswerteeinheit des Laufzeitunterschiedes (DT) mittels einer Kreuzkorrelation zwischen den elektrischen Ausgangssignalen (ES1, ES2) aufweist,

dass dem Polarisationssteller (PST) ein vom Regler (KKM) abgegebenes erstes Regelsignal (RS1) zugeführt ist,

dass ein einstellbares Verzögerungsglied (W) dem optischen Empfänger (E2) vorgeschaltet ist und dem Verzögerungsglied (VV) ein zweites Regelsignal (RS2) zugeführt ist,

daß im Signalweg des vom Polarisationsstrahlteiler (PST) bzw. vom Verzögerungsglied (W) kommenden Signale (S1, S2ko) jeweils eine erste und eine zweite Entkopplungseinrichtung (EK1, EK2) vorgesehen ist, deren abgezweigte Signale einem Strahlkoppler (PSK) zugeführt sind, dessen Ausgangssignal (S3) Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1) kompensiert ist.

6. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 3 bis 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Signal (S3) einem Modul (KOMP2) zur Detektion und zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion zumindest höherer Ordnungen (PMD2) als die Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1) zugeführt ist.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

dass das Modul (KOMP2) einen PMD-Kontroller (CTR) aufweist, dessen Eingang das Signal (S3) zugeführt ist und dessen Ausgangssignal mittels einer Entkopplungseinrichtung (KO) in zwei Signale aufgeteilt ist, die je einem optischen Empfänger (E3) und einer Meßeinrichtung (M2) zugeführt sind, daß die Meßeinrichtung (M2) eine Detektioneinheit der Polarisationsmodendispersion wenigstens höherer Ordnung (PMD2) aufweist und ein Ausgangssignal (SCTR) an ein Signalverarbeitungsmodul (SV) zur Steuerung des PMD-Kontrollers (CTR) abgibt.

15. Anordnung zur Messung und Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster und höherer Ordnungen (PMD1, PMD2) bei der Übertragung eines optischen Signals (S), das in einen PMD-Kontroller (CTR) zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion erster und höherer Ordnungen (PMD1, PMD2) eingespeist ist,

dadurch gekennzeichnet,

dass dem PMD-Kontroller (CTR) einem Koppler (KO) zum Abzweigen wenigstens zweier Anteilsignale (TS1, TS2) nachgeschaltet ist, die je in eine Meßeinrichtung (M1, M2) mit je einem Ausgangssignal (AS1, AS2) zur Messung der Polarisationsdispersion erster Ordnung (PMD1) bzw. der Polarisationsmodendispersion höherer Ordnungen (PMD2) eingespeist werden,

dass zur Ermittlung des aufgrund der Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1) ergebenen Laufzeitunterschiedes (DT) zwischen zwei mittels eines Polarisationsstellers (PS) und eines Polarisationsstrahlteilers (PST) getrennten orthogonal polarisierten Signalen des Anteilsignals (TS1) die Meßeinrichtung (M1) einen Regler (KKM) aufweist, wobei der Regler (KKM) eine Auswerteeinheit der Kreuzkorrelation zwischen den mittels zweier optischer Empfänger (E1, E2) elektrisch konvertierten orthogonal polarisierten Signalen des Anteilsignals (TS1) aufweist,

dass dem Polarisationssteller (PS) ein erstes Regelsignal (RS1) vom Regler (KKM) zugeführt ist,

daß ein einstellbares Verzögerungsglied (VV) einem der optischen Empfänger (E1, E2) vorgeschaltet ist und dem Verzögerungsglied (W) ein zweites Regelsignal (RS2) vom Regler (KKM) zugeführt ist,

dass das Ausgangssignal (AS1) der Meßeinrichtung (M1) vom Regler (KKM) abgegeben ist,

dass einem Signalverarbeitungsmodul (SV) zur Steuerung des PMD-Kontrollers (CTR) die Ausgangssignale (AS1, AS2) der Meßeinrichtungen (M1, M2) zugeführt sind.

9. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

<p>dass dem Polarisationssteller (PS, PS1, PS2) das Regelsignal (RS1) vom Modul (KMM) zur Einstellung von orthogonal polarisierten Signalen (S1, S2) derart zugeführt ist, dass die orthogonal polarisierten Signale (S1, S2) möglichst genau den Hauptachsen des nächstnachgeschalteten Polarisationsstrahleiters (PST, PST1, PST2) zugeordnet sind und</p> <p>dass die orthogonal polarisierten Signale (S1, S2) mit maximalem Laufzeitunterschied (DT) vom Polarisationsstrahleiter (PST, PST1, PST2) getrennt sind.</p>	5
<p>10. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,</p> <p>dass die optischen Empfänger (E1, E2) als analoge opto-elektronische Wandler mit Detektion einer Schwellenunterschreitung ihrer Leistung ausgeführt sind und daß den optischen Empfängern (E1, E2) eine Verstärkungseinheit nachgeschaltet ist.</p>	15
<p>11. Verfahren zur Ermittlung oder zur Kompensation des Laufzeitunterschiedes (DT) zwischen zwei einem Polarisationssteller (PS) mit nachgeschaltetem Polarisationsstrahleiter (PST) ausgehenden orthogonal polarisierten optischen Signalen (S1, S2) bei Polarisationsmodendispersion erster Ordnung (PMD1), die je in elektrische Signale (ES1, ES2) konvertiert sind, dadurch gekennzeichnet,</p>	20
<p>dass eine Kreuzkorrelation der elektrisch konvertierten Signale (S1, S2) als Funktion des Laufzeitunterschiedes oder der zeitlichen Verzögerungsverstellung zwischen den optischen Signale (S1, S2) bzw. zwischen den elektrischen Signale (ES1, ES2) ermittelt wird,</p> <p>dass ein einstellbares Verzögerungsglied (VV) für die optischen Signalen (S1, S2) verstellt wird, bis die Kreuzkorrelationsfunktion ihr Maximum (1) erreicht, wobei der Laufzeitunterschied (DT) vorzugsweise oberhalb einer Bitdauer ermittelt oder kompensiert wird,</p> <p>dass zur Maximierung der eingestellten Verzögerung des Verzögerungsglieds (W) der Polarisationssteller (PS) verstellt wird.</p>	25
<p>12. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,</p> <p>dass bei weiteren Ermittlungen oder Kompensationen der Polarisationsmodendispersion (PMD) der einstellbare Verzögerungsglied (W) für alle Neuerstellungen des Polarisationsstellers (PS) permanent so eingestellt wird, dass die Kreuzkorrelation maximal bleibt.</p>	30
<p>13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet.</p>	35
<p>dass zur Feinermittlung oder Feinkompensation von verbleibenden Laufzeitunterschieden zumindest innerhalb einer Bitdauer ein Lock-in-Verfahren für die Einstellung des Verzögerungsglieds (W) vorgesehen ist.</p>	40
<p>14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet,</p> <p>dass die Ermittlung oder die Kompensation des Laufzeitunterschiedes (DT) möglichst schnell verlaufen, so daß Änderungen oder Schwankungen der Signale (S1, S2) insbesondere bei mechanischen Störungen oder bei Temperaturänderungen über einer vorgeschalteten Übertragungsstrecke die Ermittlung oder die Kompensation des Laufzeitunterschiedes (DT) nicht beeinträchtigen.</p>	45
<p>15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet,</p> <p>dass anstelle oder zusätzlich zu einem optischen einstellbaren Verzögerungsglieds (VV) wenigstens einem der optischen Empfänger (E1, E2) eine elektrische Leitung mit einstellbarer Verzögerung nachgeschaltet wird</p> <p>oder wenigstens in einem der optischen Empfänger (E1, E2) integriert wird.</p>	50
<p>dass zur Feinermittlung oder Feinkompensation von verbleibenden Laufzeitunterschieden zumindest innerhalb einer Bitdauer ein Lock-in-Verfahren für die Einstellung des Verzögerungsglieds (W) vorgesehen ist.</p>	55

FIG 1

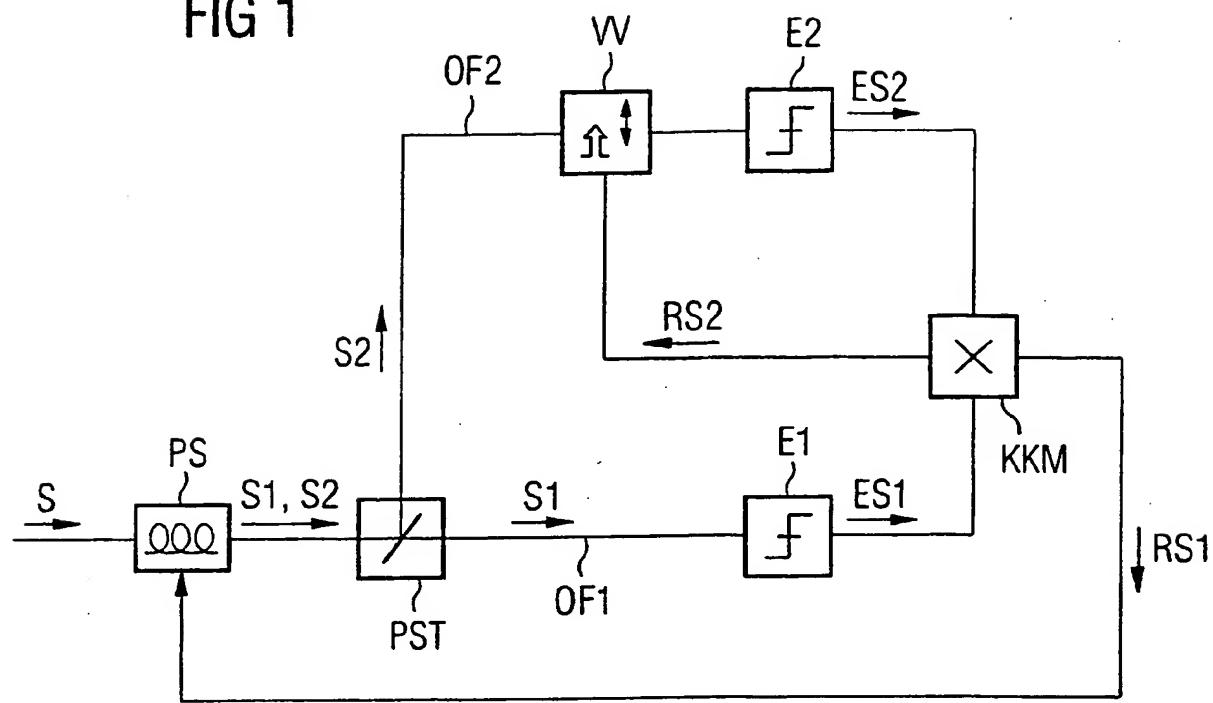


FIG 2

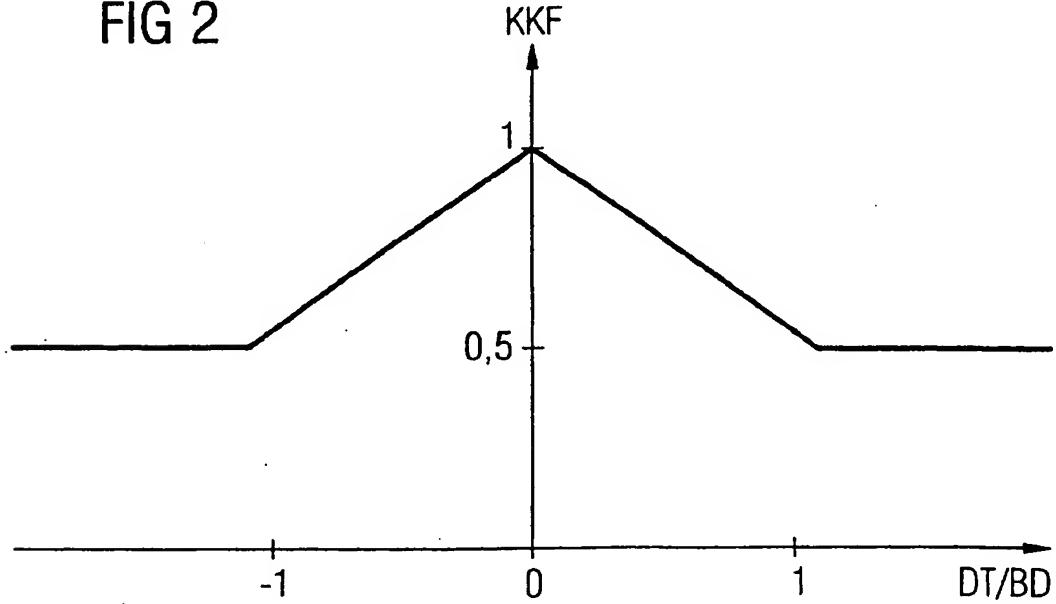


FIG 3

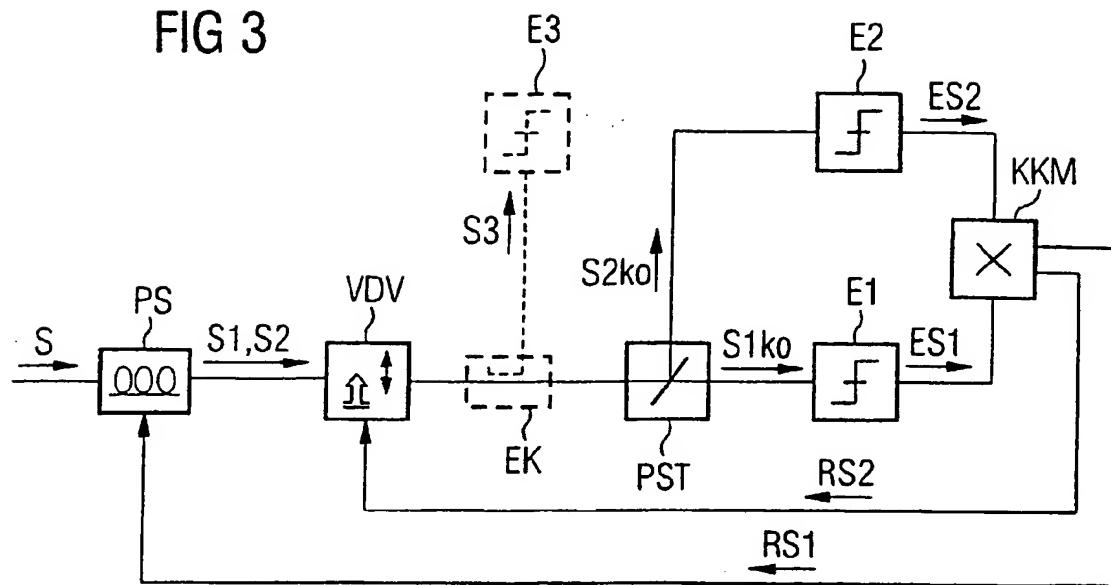


FIG 4

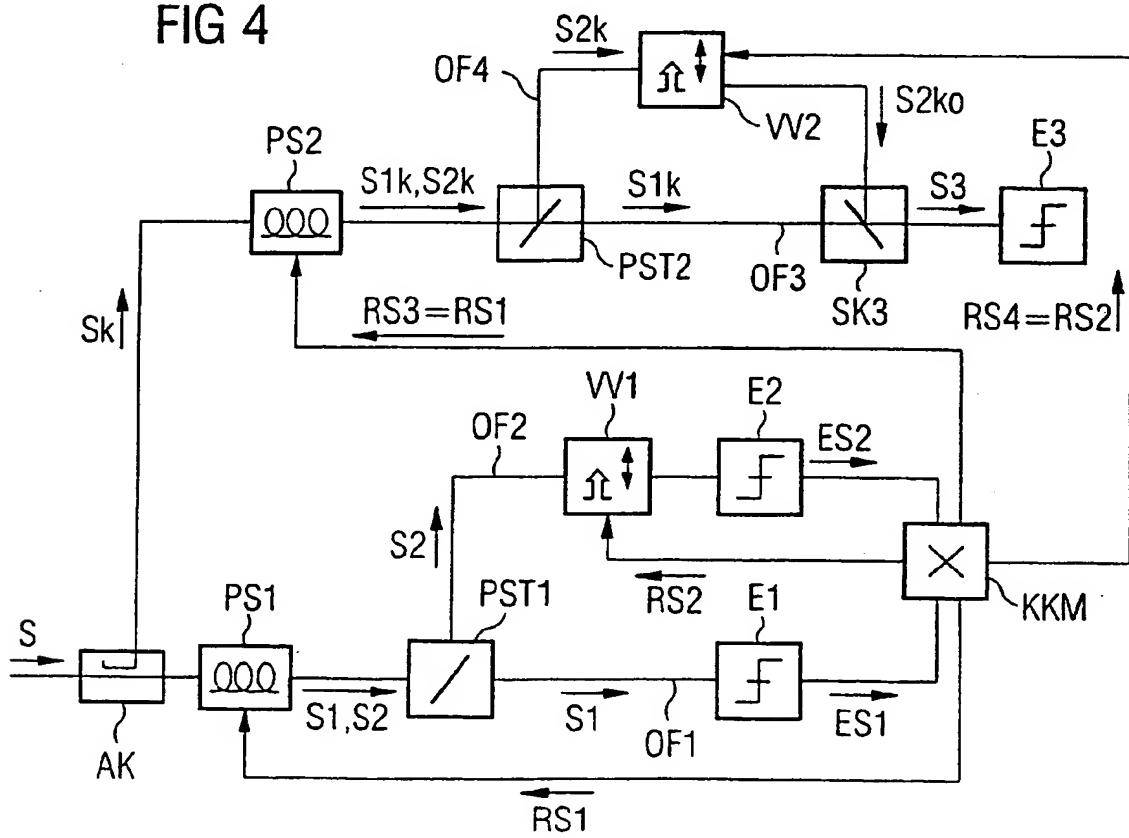


FIG 5

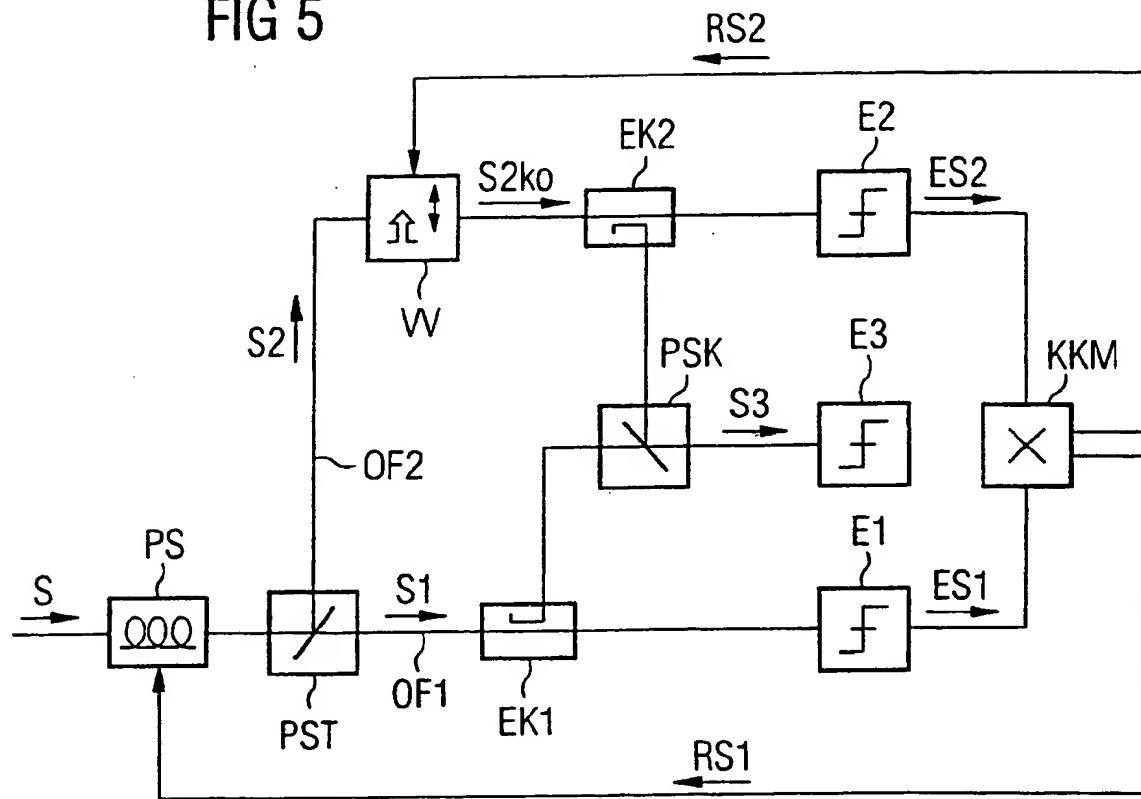


FIG 6

